



Rancang Bangun Sistem Desalinasi Energi Surya Menggunakan Absorber Bentuk Separo Elip Melintang

M. Syahri

Jurusan Teknik Kimia – FTI UPN "Veteran" Yogyakarta
Jln. SWK 104 (Lingkar Utara) Condongcatur Yogyakarta - 55283
(email: mohsyahri@gmail.com)

Abstract

Have been designed simply and economic solar collector use absorber of brass materials as source of liquid fluid thermal energy. Solar collector with absorber in form of cross half elliptical give area contact which bigger relative compared to plate form as well as giving longer contact time, so that expected liquid fluid will be more many yielded condensate. This system use plate of absorber with dimension $0.5 \times 1 \times 0.01 \text{ m}^3$, glass as cover plate with dimension $0.5 \times 1 \times 0.005 \text{ m}^3$ and glass wool as insulation material thickly 0.05 m . Heat flux loss by radiation to environment, convection, and conduction have been calculation. The calculation used to yield water as condensate equal to 250 ml/hr of sea water. The result of calculation of heat for the application of sea water desalination base on solar energy, heat flux of solar radiation mean = 880 W/m^2 , heat loss of radiation by conduction = 7.38% , heat flux convection = 165 W/m^2 , heat flux conduction = 65 W/m^2 , evaporation and condensation heat flux value = 307 W/m^2 .

Keyword : cross half elliptical, desalination

Pendahuluan

Belakangan ini terus dilakukan beberapa usaha penghematan energi yang fossil dengan pengembangan energi alternatif yang ramah lingkungan. Salah satunya yaitu dengan pemanfaatan energi surya. Energi surya adalah salah satu energi alternatif yang dirasakan sangat sesuai dengan kondisi saat ini karena disamping murah juga bersifat renewable dan tersedia sangat melimpah di daerah tropis. Menurut prediksi Badan Pusat Statistik (BPS) bahwa pada 2015 jumlah penduduk Indonesia melonjak menjadi 247,5 juta jiwa (Agustiar, 2007). Pertambahan penduduk tersebut berbanding lurus dengan kebutuhan air, dan diprediksi menjadi 9.391 miliar m^3 atau naik 47 persen dari tahun 2000. Padahal ketersediaan air cenderung menurun setiap tahunnya, salah satu kasus di daerah padat penduduk (Pulau Jawa), ketersediaan air hanya 1.750 m^3 per kapita per tahun, jauh di bawah standar kecukupan yaitu 2.000 m^3 per kapita per tahun. Permasalahan ini apabila tidak ditanggulangi, dipastikan Indonesia akan mengalami kelangkaan air bersih pada 2015. Diperkirakan, ketersediaan air pada tahun tersebut hanya 1.200 m^3 per kapita per tahun (Agustiar, 2007). Sungguh sangat ironis sekali mengingat Indonesia termasuk dalam 10 negara yang kaya akan air. Untuk memenuhi kebutuhan air bersih yang terus meningkat, khususnya di daerah-daerah pemukiman pantai atau pesisir maka perlu dibangun

unit pengolahan air bersih. Karena keterbatasan sumber air tanah, maka air asin atau air laut merupakan harapan lain untuk dapat dimanfaatkan.

Tinjauan Pustaka

Pemurnian air laut selama ini menggunakan teknologi *reverse osmosis (R.O)*, namun teknologi tersebut relatif masih mahal harganya. sementara ketersediaan sumber energi terbarukan, misalnya: tenaga surya (*solar power*) (Astawa, 2008) masih belum banyak diberdayakan. Radiasi surya (*solar radiation*) merupakan salah satu bentuk radiasi termal yang mempunyai distribusi panjang gelombang yang khusus. Intensitasnya sangat bergantung dari kondisi atmosfer dan sudut datang (*angle of incidence*) sinar matahari di permukaan bumi. Pada batas luar atmosfer, iradiasi surya total adalah 1395 W/m^2 (Holman, 1986). Tidak seluruhnya iradiasi surya total mencapai permukaan bumi, karena terdapat absorpsi yang kuat dari karbon dioksida dan uap air di atmosfer. Radiasi surya yang menimpa permukaan bumi juga bergantung dari kadar debu dan zat pencemar lainnya di dalam atmosfer. Energi surya akan mencapai permukaan bumi maksimum, bilamana berkas sinar itu langsung menimpa permukaan bumi. Intensitas maksimum ini akan dipenuhi apabila terdapat bidang pandang yang lebih luas terhadap fluks surya yang datang dan berkas sinar surya

menempuh jarak yang lebih pendek di atmosfer (Holman, 1986).

Indonesia memiliki intensitas radiasi matahari rata-rata sebesar 880 W/m² (Rahardjo dkk., 2002) Sistem kolektor surya berfungsi untuk mengumpulkan energi radiasi matahari dan mengubahnya menjadi energi panas. Kinerja sistem sangat bergantung pada banyak faktor, antara lain: ketersediaan energi, suhu udara lingkungan sekitar, karakteristik dan bentuk bahan absorber. Pemakaian penutup kaca tersebut dimaksudkan untuk mengisolasi energi radiasi surya yang sudah mengenai absorber, sehingga energi radiasi surya (terutama inframerah) dapat dengan maksimal ditransfer ke fluida kerja. Pada sistem desalinasi, kesetimbangan panas dan *heat flux* radiasi dapat dihitung menggunakan persamaan 1 dan 2 (Anggito dkk., 2001).

$$Q_{\text{datang}} = Q_{\text{serap}} + Q_{\text{rugi}} \quad (1)$$

$$\frac{Q_{\text{radiasi}}}{A} = I \cdot \tau \cdot \alpha_p \quad (2)$$

Dimana:

A = Luas permukaan radasi (m²)

I = Intensitas surya (W/m²)

τ = Transmivitas kaca

α_p = Absorptivitas pelat penyerap

Heat flux konveksi pelat dan air pada sistem desalinasi merupakan perpindahan panas yang terjadi antara pelat penyerap dengan air laut melalui konveksi alamiah. Panas konveksi akan digunakan pada proses evaporasi air laut, sehingga air terpisah dari partikel-partikel garam karena perbedaan massa jenis. *Heat flux* konveksi pelat dan air dapat dihitung menggunakan persamaan 3, 5, dan 6, dengan terlebih dahulu menghitung koefisien konveksi (h), angka *Nusselt* dan memasukkan sifat fisik air. Sedangkan *heat flux* konveksi kaca ke udara dapat dihitung dengan persamaan 4, 5, dan 6 dengan memasukkan sifat fisik udara (Geankoplis, 1983).

$$\frac{Q_{\text{plat} - \text{air}}}{A} = h \cdot (T_{\text{plat}} - T_{\text{air}}) \quad (3)$$

$$\frac{Q_{\text{kaca} - \text{udara}}}{A} = h \cdot (T_{\text{kaca}} - T_{\text{udara}}) \quad (4)$$

$$h = 0.22 (\Delta T)^{1/3} \quad (5)$$

$$N_u = a (N_{Gr} \cdot N_{Pr})^m \quad (6)$$

dimana :

h = koefisien konveksi (W/m².°C)

k = konduktivitas (W/m².°C)

x = tebal (m)

N_u = angka *Nusselt*

$$P_r = \text{angka Prandtl} = \left(\frac{C_p \cdot \mu}{k} \right)$$

$$R_e = \text{angka Reynold}$$

$$G_r = \text{angka Grashof} = \left(\frac{L^3 \rho^2 g \beta \Delta T}{\mu^2} \right)$$

a & m = konstanta (Geankoplis, 1983)

Heat flux konduksi pelat tembaga ($k = 388$ W/m.K) dan *glass wool* ($k = 0.031$ W/m.K) pada sistem desalinasi merupakan perpindahan panas yang terjadi antara pelat penyerap dengan material isolasi. Material isolasi diharapkan mampu mengisolasi panas dalam sistem sehingga efisiensi panas yang dihasilkan lebih baik. *Heat flux* konduksi dapat dihitung menggunakan persamaan 7 (Anggito dkk., 2001).

$$\frac{Q_{\text{konduksi}}}{A} = \frac{k}{x} (T_{\text{plat}} - T_{\text{Glasswool}}) \quad (7)$$

dimana :

k = Konduktivitas (W/m².°C)

x = tebal (m)

Disamping *heat flux* radiasi surya, terdapat panas radiasi lainnya dalam sistem desalinasi, yaitu: *heat flux* radiasi air ke kaca, juga *heat flux* radiasi kaca ke udara. Keduanya dapat dihitung menggunakan persamaan 8 dan 9, dengan terlebih dahulu memasukkan harga emisivitas kaca, temperatur air, dan temperatur udara.

$$\frac{Q_{\text{rad, air} - \text{kaca}}}{A} = \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_{\text{air}} - T_{\text{kaca}}) \quad (8)$$

$$\frac{Q_{\text{rad, kaca} - \text{udara}}}{A} = \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_{\text{kaca}} - T_{\text{udara}}) \quad (9)$$

dimana :

σ = Ketetapan Stefan Boltzman = 5.67×10^{-8} W/m² °C⁴

ε = Emisivitas kaca = 0.96

Kapasitas uap hasil proses evaporasi dan air hasil proses kondensasi direncanakan sebesar 250 ml/jam. Pada perancangan tersebut diharapkan semua uap akan berubah menjadi air dalam proses kondensasi. *Heat flux* evaporasi dan kondensasi dapat dihitung menggunakan persamaan 10 dan 11.

$$\frac{Q_{\text{evaporasi}}}{A} = m \cdot h_{fg} \quad (10)$$

$$\frac{Q_{\text{kondensasi}}}{A} = m \cdot h_{fg} \quad (11)$$

dimana :

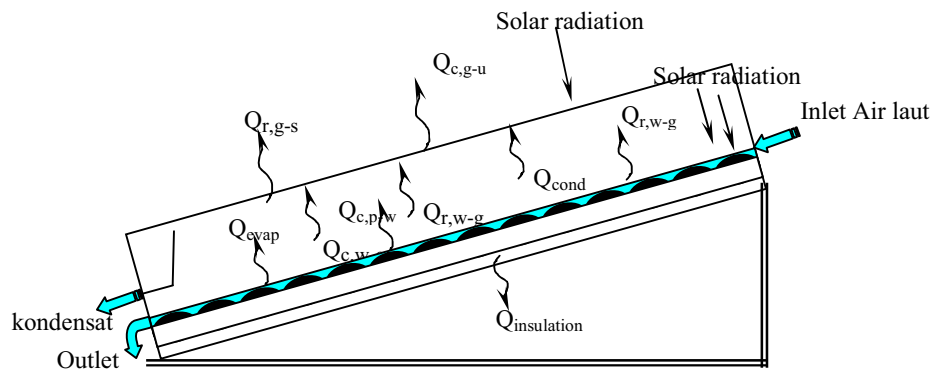
m = Kapasitas uap dan air (kg/s)

h_{fg} = Entalpi air-uap (J/kg)

Neraca energi pada permukaan absorber

Radiasi surya yang mengenai absorber melalui cover glass (penutup kaca) akan diabsorpsi oleh absorber kuning yang dicat hitam, kemudian kalor yang

dihasilkan ditransfer ke fluida kerja yang mengalir di atas absorber. Pada sistem desalinasi, kesetimbangan panas pada sistem desalinasi air laut dapat dilihat pada gambar 1 sbb :



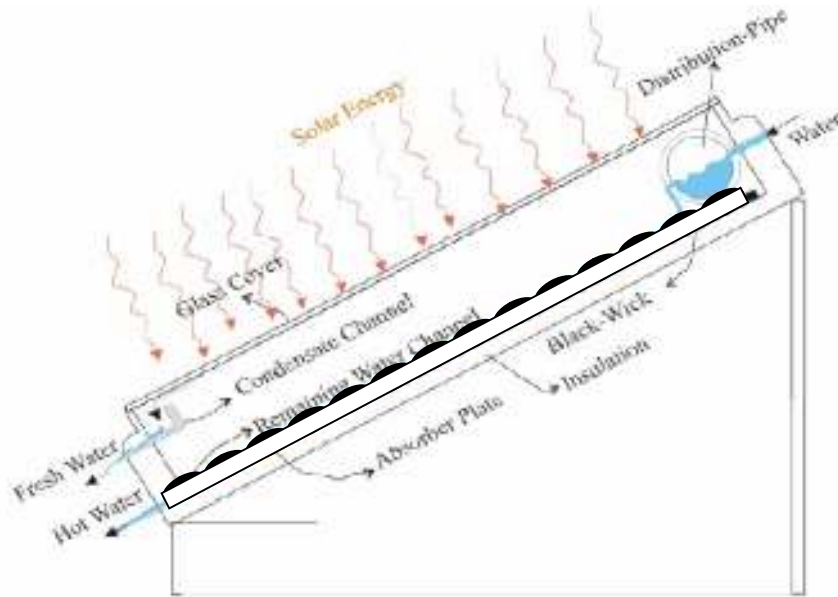
Gambar 1. Kesetimbangan Panas pada Sistem Desalinasi Air Laut (Assefi, 2006)

Sebelum menentukan besarnya *heat flux* konveksi pelat-air, terlebih dahulu dihitung dan disubstitusikan nilai (konduktivitas, *Prandtl*, *Reynold*) air dan tebal pelat penyerap pada kondisi temperatur pelat dan temperatur air. Besaran tersebut dapat ditentukan menggunakan persamaan 3, 5 dan 6, sehingga diperoleh *heat flux* konveksi sebesar 165 W/m². Nilai (konduktivitas, *prandtl*, *reynold*) udara dan tebal kaca pada kondisi temperatur kaca dan udara ditentukan dan disubstitusikan kedalam persamaan 4, 5, dan 6, maka diperoleh *heat flux* konveksi kaca – udara sebesar 10.44 W/m². Dengan memasukkan nilai konduktivitas dan tebal *glass wool* sebagai material isolasi sebesar 0.031 W/m.^oC dan 0.005 m pada kondisi temperatur pelat dan lingkungan kedalam persamaan 7, maka didapatkan nilai *heat flux* sebesar 65 W/m². *Heat flux* radiasi antara air dan kaca penutup, juga *heat flux* radiasi antara kaca dan udara dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 8 dan 9 pada kondisi temperatur air, kaca dan udara, sehingga didapatkan *heat flux* radiasi gabungan sebesar 1.97 W/m². Kapasitas uap dan air direncanakan sebesar 250 ml/jam, sehingga diharapkan jumlah air yang menguap pada proses evaporasi sama dengan jumlah air yang dihasilkan dari proses kodensasi sistem desalinasi air laut menggunakan tenaga surya. Dengan menggunakan persamaan 10 dan 11, didapatkan *heat flux* evaporasi dan kondensasi sebesar 307 W/m².

Perancangan

Rancang bangun sistem pengumpulan energi surya dengan bentuk separo elips melintang telah dirancang seperti terlihat pada gambar 2. Sistem yang dirancang untuk menguapkan air laut sehingga terpisah antara air dan partikel-partikel garam. Konsep pemisahan ini terjadi karena adanya proses evaporasi dan perbedaan massa jenis, selanjutnya uap akan di kondensasikan lagi menjadi air. Pada sistem desalinasi air laut terdapat pelat penyerap berbentuk separo elips (tembaga) yang berfungsi untuk menyerap radiasi matahari yang datang dan mentransferkan panas ke fluida kerja (air laut). Untuk menjaga agar tidak terjadi kerugian panas, maka digunakan kaca penutup dibagian atas serta isolator (*glass wool*) dibagian bawah dan samping sistem (Kristianto, 2000).

Pada perancangan ini digunakan material pelat penyerap dari tembaga dengan nilai absorptivitas sebesar 0.96 dan nilai transmitivitas kaca sebesar 0.88. Material isolasi yang digunakan adalah *glass wool* dengan konduktivitas termal sebesar 0.031 W/m².^oC. Bahan tembaga merupakan salah satu elemen penting yang berguna menyerap panas secara optimal dari matahari. Sedangkan material *glass wool* mampu mengisolasi panas di dalam sistem agar terjadi perpindahan panas yang baik dan menghasilkan efisiensi yang optimal secara keseluruhan.



Gambar 2. Sistem Desalinasi Air Laut menggunakan Tenaga Surya (Aybar, 2006)

Hasil dan Pembahasan

Sistem desalinasi air laut memerlukan kesetimbangan panas (*heat balance*) di dalam perencanaan dan perancangannya. Kesetimbangan panas digunakan untuk mengetahui perubahan antara energi yang datang dari pancaran sinar matahari dengan energi yang diserap untuk proses desalinasi beserta kerugiannya ke lingkungan. Kesetimbangan tersebut diperlihatkan pada gambar 1 dan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1. Panas yang diserap digunakan antara lain untuk proses evaporasi dan kondensasi di dalam sistem desalinasi.

Dengan mensubstitusikan nilai transmittivitas kaca (ϵ kaca) sebesar 0.88 dan absorptivitas pelat (α pelat) sebesar 0.96, ke dalam persamaan 2, maka nilai *heat flux* radiasi surya adalah sebesar 880 W/m². Secara keseluruhan, neraca kesetimbangan panas pada sistem desalinasi air laut menggunakan tenaga surya ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1. Neraca Panas Sistem Desalinasi Air Laut

Jenis Heat Flux dan Rugi Panas	Nilai Heat Fluk dan Rugi Panas	
	(W/m ²)	(%)
Heat fluk radiasi surya	880	100
Heat fluk konveksi plat ke air	165	18.75
Heat fluk konduksi plat ke glass wool	65	7.38
Heat flux radiasi air ke kaca	1.55	0.176
Heat flux konveksi kaca ke udara	0.42	0.048
Heat flux konveksi udara ke kaca	10.52	1.19
Heat flux evaporasi	307	34.88
Heat flux kondensasi	307	34.88

Kesimpulan

Rancang bangun kolektor surya dengan penggantian pelat absorber dari pelat datar menjadi pelat gelombang (separo elips) akan meningkatkan efisiensi kolektor surya dengan cara memperbesar luasan penyerapan efektif dan meminimalkan kehilangan energi panas akibat pantulan keluar dari kolektor surya. Pada perhitungan perancangan panas dalam sistem desalinasi air laut menggunakan tenaga surya sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: intensitas dan arah datang sinar matahari, material dan bentuk pelat penyerap dan isolasi agar terjadi perpindahan panas yang optimal dan kerugian panas yang minimal. Perpindahan panas yang baik dapat menghasilkan efisiensi yang tinggi dan berdampak terhadap proses evaporasi dan kondensasi. Material pelat penyerap harus memiliki nilai absorptivitas yang baik agar mampu menyerap panas yang datang dari sinar matahari dan dapat digunakan untuk proses evaporasi dan kondensasi dalam sistem desalinasi.

Daftar Pustaka

- Anggito P. Tetuko. *et.al*, *Heat Transfer* pada Sistem Desalinasi Tenaga Surya dengan Pelat Penyerap berbasis Tembaga
- Agustiar, D.R (2007), Indonesia Terancam Kekurangan Air Bersih, Tempo Interaktif, <http://www.tempointeraktif.com>
- Astawa, K (2008), Pengaruh Penggunaan Pipa Kondensat sebagai *Heat Recovery* pada Basin Type *Solar Still* terhadap efisiensi, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CAKRAM, Vol. 2, No.1, 34-41.
- Assefi, H (2006), Review and Analysis of Solar Desalination Systems, Eastern Mediterranean University

- Aybar, H.S (2006), A Review of Desalination by Solar Still, Department of Mechanical Engineering, Eastern Mediterranean University, G.Magosa, KKTC, Mersin 10 Turkey
- Geankoplis, C.J, 1983, Transport Processes and Unit Operations, 2nd edition, Allyn and Bacon, Inc, London
- Holman, J.P, 1986, Heat Transfer, McGraw-Hill Inc.
- Kristianto, P., J. Laeyadi (2000), Kolektor Surya Prismatic, Jurnal Teknik Mesin, Universitas Kristen Petra, Vol. 2, No. 1, 22-28.
- Rahardjo, I., I. Fitriana (2002), Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Indonesia, Seminar Strategi Penyediaan Listrik Nasional Dalam Rangka Mengantisipasi Pemanfaatan PLTU Batu Bara Skala Kecil, PLN, dan Energi Terbarukan.